

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА  
ПЕРСОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ**

А.Н. ОСИПОВ<sup>1</sup>, М.В. ДАВЫДОВ<sup>1</sup>, А.А. БОРИСКЕВИЧ<sup>1</sup>, М.М. МЕЖЕННАЯ<sup>1</sup>,  
Н.С. ДАВЫДОВА<sup>1</sup>, И.О. ХАЗАНОВСКИЙ<sup>1</sup>, А.В. ФРОЛОВ<sup>2</sup>, А.В. ПАЦЕЕВ<sup>2</sup>, С.В. ПАЦЕЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

*П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

<sup>2</sup>*Республиканский научно-практический центр «Кардиология»*

*Ул. Р. Люксембург, 110Б, Минск, 220036, Беларусь*

<sup>3</sup>*Городской клинической родильный дом №2*

*Ул. Бельского, 60, Минск, 220015, Беларусь*

**Аннотация.** Электронное здравоохранение, основанное на использовании информационных и коммуникационных технологий, включая анализ больших данных, предоставляет уникальную возможность для улучшения качества и продолжительности жизни человека. Основная проблема заключается в разработке методов контроля и коррекции здоровья, рассчитанных на индивидуальное использование и не требующих участия врача. В данной статье представлен проект интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека на основе интернета вещей, облачных вычислений, обработки больших данных и нейросетевого анализа.

**Ключевые слова:** электронное здравоохранение, мониторинг здоровья, интернет вещей, облачные вычисления, обработка больших данных, анализ нейронных сетей.

**Abstract.** E-health based on the use of information and communication technologies including big data analysis provides a unique opportunity for the improvement of life quality and length. The main problem here lies in the development of new, doctor-free methods of health monitoring and correction that are designed for individual use. This article presents the project of smart personal human health monitoring system based on the Internet of Things, cloud computing, BigData processing and neural network analysis.

**Keywords:** e-health, personal health monitoring, Internet of Things, cloud computing, BigData processing, neural network analysis.

**SMART SYSTEM OF PERSONAL HEALTH MONITORING**

A. OSIPOV, A. BORISKEVICH, M. DAVYDOV, M. MEZHENNAYA, N. DAVYDOVA,  
I. KHAZANOVSKY, A. FROLOV, A. PATSEEV, S. PATSEEV

**Введение**

Современный уровень информационно-коммуникационных технологий предоставляет обширные возможности для развития электронного здравоохранения с целью повышения качества и продолжительности жизни людей. В этой области основной проблемой является отсутствие эффективных интеллектуальных средств и медико-методического обеспечения системы дистанционной диагностики состояния органов и функциональных систем человека. В качестве основы для развертывания персональной дистанционной диагностической системы целесообразно использовать повсеместно распространенные, доступные каждому и многофункциональные мобильные операционные системы.

Целью данной работы является проектирование интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека на основе интернета вещей, облачных вычислений, обработки больших данных и нейросетевого анализа.

Проектирование интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека включает следующие задачи:

1. Разработать смарт-сенсоры контроля физиологического состояния человека (пульсограммы, параметры крови, температуры репрезентативных зон тела, артериальное давление, ЭКГ, ЭЭГ и речевые сигналы и др.).
2. Разработать защищенную телекоммуникационную систему дистанционного мониторинга состояния здоровья человека. С помощью технологии интернета вещей и облачных технологий реализовать передачу информации от смарт-сенсоров в персональное мобильное устройство по беспроводным каналам связи и последующий обмен данными с сервером.
3. Разработать методы интегральной обработки биомедицинской информации с использованием технологии BigData и нейросетевого анализа. На базе облачных сервисов реализовать декомпозицию биомедицинских сигналов и идентификацию диагностически значимых признаков, характеризующих индивидуальное физиологическое состояние пользователя, выполнить оценку динамики изменения этого состояния. Обеспечить извещение пользователя и врача при превышении физиологических показателей границ индивидуально установленной нормы.

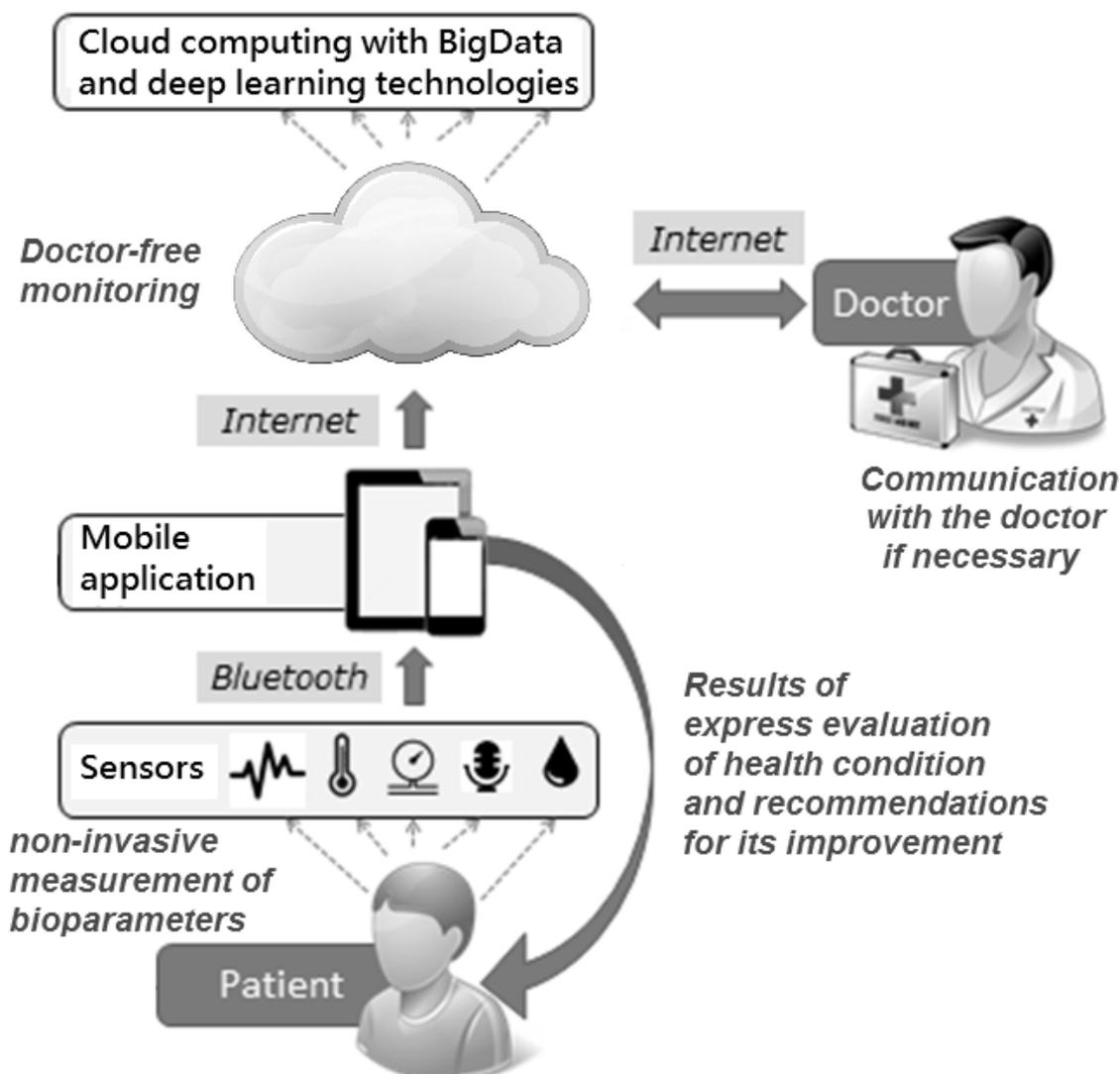
**Основная часть**

Структура интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека представлена на рисунке 1.

С функциональной точки зрения система должна обеспечивать:

1. Неинвазивное измерение основных параметров функционального состояния человека с помощью известных биомедицинских датчиков.
2. Передача информации на мобильное устройство пользователя через Bluetooth.
3. Экспресс-оценка состояния здоровья с помощью методов биомедицинской обработки сигналов [1-4] посредством мобильного приложения с возможностью уведомления пользователя, когда его физиологические показатели превышают установленные индивидуально нормальные пределы. Предупредительный сигнал позволит пациенту принять ряд соответствующих мер по нормализации его физиологического состояния и тем самым предотвратить развитие тяжелых дисфункций.
4. Обработка и хранение информации о здоровье пациента на сервере для уведомления врача, если его физиологические параметры приближаются к критическим уровням.

Одним из важнейших вопросов при создании таких систем является выбор параметров, подлежащих мониторингу. Пульсограммы, параметры крови, температуры репрезентативных зон тела, артериальное давление, ЭКГ, ЭЭГ и речевые сигналы будут использоваться с учетом необходимости неинвазивной регистрации, простоты реализации датчиков, информативности и скорости считывания.



**Рис.1.** Структура интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека

Периферический импульсный сигнал - один из наиболее информативных физиологических сигналов, характеризующих гемодинамические параметры сердечно-сосудистой системы: внутрисосудистое давление, напряжение в артериальных парах, волновые процессы в артериальной системе, вязкость крови и т.д. Пульсограммы будут регистрироваться с помощью оптоэлектронных методов диагностики, которые будут сочетаться с неинвазивным измерением параметров крови и мониторингом оксигемоглобина.

Более 40% взрослого населения в Европе и США имеют высокое артериальное давление, а некоторые пациенты с гипертонией становятся нечувствительными к воздействию фармакологических агентов. У таких пациентов самый высокий риск перенесенного инсульта, поэтому за их давлением нужно следить.

Температура и ЭКГ будут измеряться, поскольку они обеспечивают основу для оценки общего состояния организма человека и являются достаточно информативными для диагностики и мониторинга ряда заболеваний.

Чрезвычайно важна развивающаяся в настоящее время область ранней диагностики нарушений речи, которая позволяет вовремя выявлять и лечить разнообразные неврологические нарушения (дистония, дисартрия, паркинсонизм, патологии кровообращения, когнитивные нарушения и т.д.), что имеет решающее значение для людей пожилого возраста.

Важным вопросом также является адаптация существующих и разработка новых протоколов, алгоритмов и методов медицинской диагностики в приложении к интернету вещей, которые позволят осуществлять самоконтроль и индивидуальную удаленную медицинскую диагностику пользователей

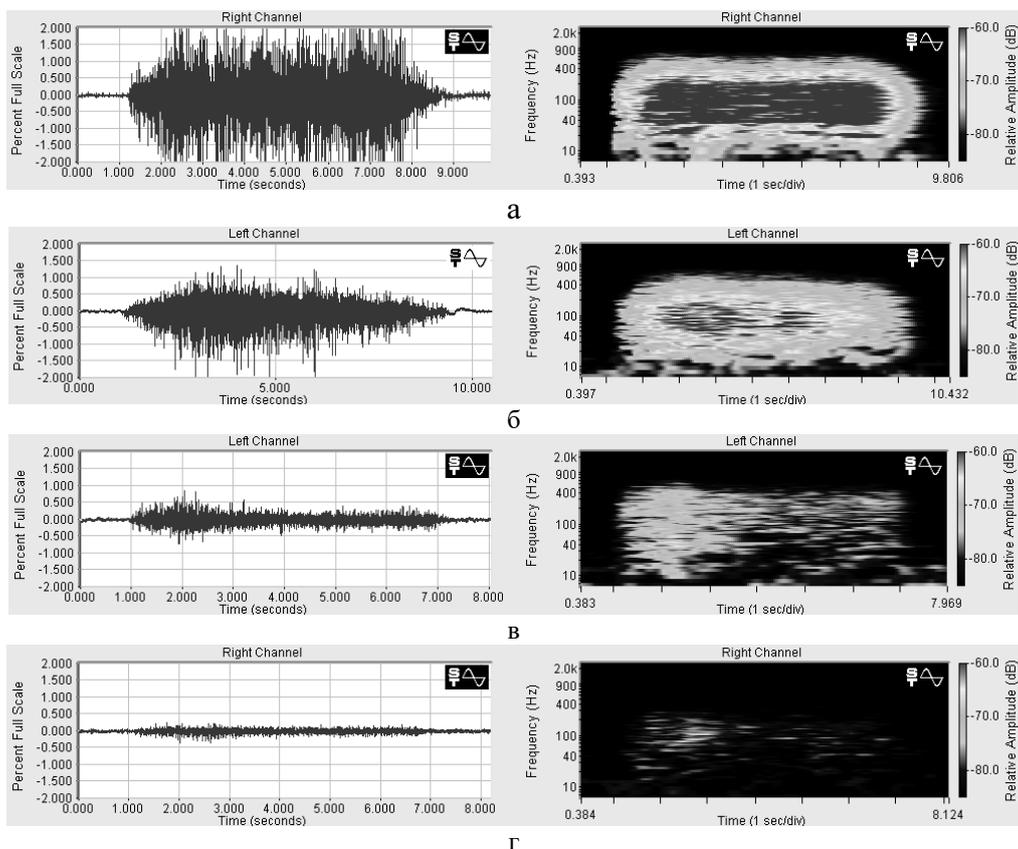
(в том числе пожилых людей, инвалидов, пациентов с хроническими заболеваниями, ведущих активных жизней) на основе предложенной интеллектуальной системы. Авторами уже получены предварительные данные, позволяющие оптимально адаптировать метод цифровой обработки к объекту исследований [5-7].

В рамках проекта будет разработана методология комплексной обработки биомедицинской информации. Это позволит построить более точную математическую модель, которая адекватно описывает поведение медико-биологических функциональных систем, что в конечном счете повысит точность диагностики. Система обеспечит декомпозицию биомедицинских сигналов и расчет диагностически важных параметров, описывающих индивидуальное физиологическое состояние пользователя, а также оценку динамики изменения этого состояния. Результаты экспресс-оценки послужат основой для генерации автоматических рекомендаций по улучшению состояния пользователя.

В качестве примера накопленного авторами опыта цифровой обработки биомедицинских сигналов опишем исследование электромиограмм (ЭМГ).

Проведены клинические исследования суммарной электромиограммы, зарегистрированной в двух группах (здоровые люди и пациенты с патологическими изменениями мышечной ткани вследствие заболеваний суставов). Анализ результатов суммарной ЭМГ с использованием метода частотно-временного анализа показал его эффективность для информативной качественной и количественной оценки функционального состояния нервно-мышечной системы человека.

Качественный анализ нестационарной по своей природе структуры ЭМГ-сигнала (включая временную локализацию его спектральных составляющих) и динамики параметров при сокращении мышц осуществляется на основе спектрограммы, которая представляет собой графическое отображение амплитудной, частотной и временной составляющих биомедицинского сигнала в режим реального времени (рисунок 2). Также можно оценить способность мышцы к концентрическому напряжению с помощью спектрограммы.



**Рис.2.** Суммарные ЭМГ-сигналы и спектрограммы мышцы *m. gastrocnemius medialis* в норме и патологии (а - тренированного испытуемого; б - нетренированного испытуемого; в - в случае ослабленного состояния мышечной ткани; г - при патологических изменениях мышечной ткани)

Для количественной оценки суммарной ЭМГ предложен амплитудно-частотный критерий оценки функционального состояния нервно-мышечной системы человека: показатель отношения средней амплитуды сигнала ЭМГ к эффективной ширине спектра. Данный критерий позволяет учитывать основные параметры нестационарного биомедицинского сигнала (амплитуду и частоту), что дает возможность быстрой и эффективной экспресс-диагностики функционального состояния нервно-мышечной системы с использованием автоматизированных комплексов частотно-временной обработки сигналов ЭМГ.

Предложенные методы качественной и количественной оценки сложных сигналов ЭМГ могут быть использованы для прогнозирования периода восстановления нарушенных двигательных функций; как критерий при выборе средств и методов физической реабилитации; для контроля динамики нарушений функций и объективной оценки эффективности лечения.

Еще один пример разработок авторов - цифровая обработка речевых сигналов в норме и при неврологических расстройствах (рисунок 3). Предложен метод качественной и количественной дифференциальной диагностики бульбарного паралича на основе цифровой обработки речевых сигналов. Для реализации этого метода авторами было разработано программное обеспечение с графическим пользовательским интерфейсом, которое позволяет повысить точность и скорость диагностики.

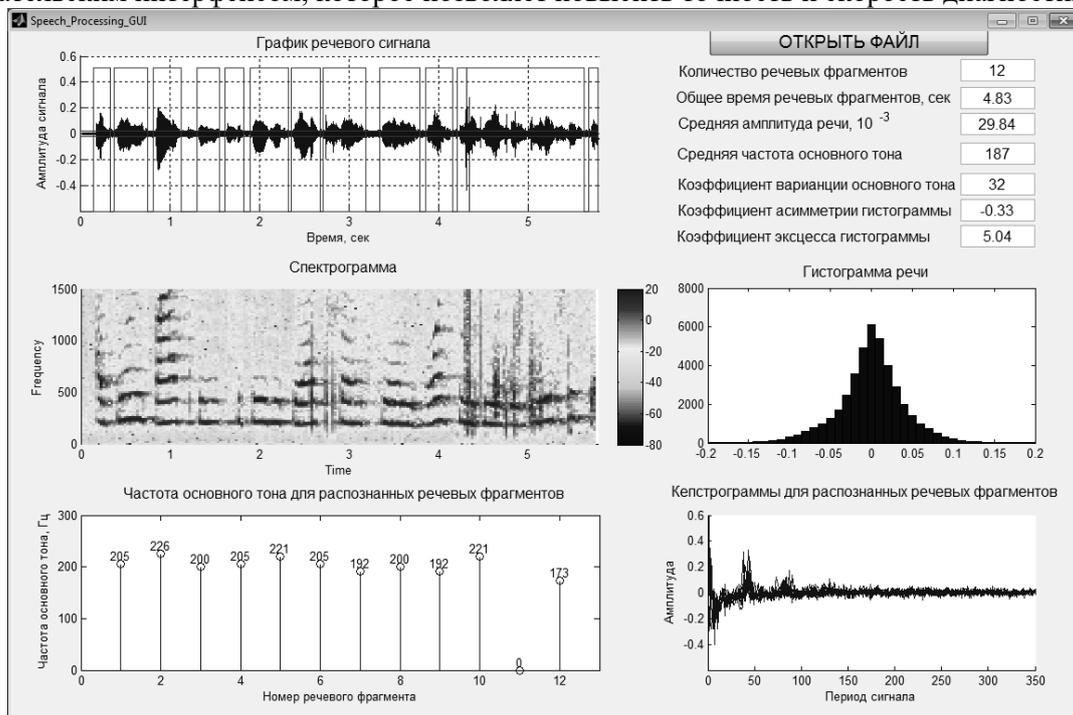


Рис.3. Результаты обработки речевого сигнала при бульбарном синдроме.

### Заключение

В данной статье представлен проект интеллектуальной системы персонального мониторинга здоровья человека. Спроектированная система обеспечивает: неинвазивное измерение основных параметров функционального состояния человека с помощью известных биомедицинских датчиков; передачу информации на мобильное устройство пользователя по Bluetooth; экспресс-оценку состояния здоровья с помощью методов обработки биомедицинских сигналов на базе мобильного приложения; передачу информации на сервер для углубленной обработки с помощью специального программного обеспечения.

### Список литературы

1. Osipov A. Method of time-frequency analysis of compound electromyogram in estimation of neurogenic control efficiency in human skeletal muscles / A. Osipov, M. Mezhenayaya, N. Davydova, I. Ilyasevich, M. Davydov, E. Soshnikova, V. Kulchitsky // *Activitas Nervosa Superior Rediviva*. - Volume 57, No.4, 2015. - P.101-107.
2. Mezhenayaya M. Time-Frequency Analysis of Global Electromyogram in Qualitative and Quantitative Estimation of Human Neuromuscular System Functional Condition / M. Mezhenayaya, A. Osipov, N. Davydova, I. Ilyasevich, M. Davydov, V. Kulchitsky // *Biomedical electronics*. - Moscow, No. 2, 2012. - P. 3-11.

3. Mezhennaya M. The therapy and diagnostic hardware-software complex of total electromyography and electrical stimulation / M. Mezhennaya, A. Osipov, N. Davydova, M. Davydov // Proceedings of Conference "Facilities of Medical Electronics and Novel Medical Technologies – MedElectronics-2014". – BSUIR, 2014. – P.268-272.
4. Davydova N. Estimation of the variability of human motor skill on the basis of electrophysiological and biomechanical parameters of movement / Davydova N., Osipov A., Kulchitsky V., Davydov M., Mezhennaya M. // Reports of BSUIR. - 2014. – No. 1 (63). - P. 40-46.
5. Ruiz L. Algorithm of the calculation adaptive lifting wavelet transform based on the diffusion of prediction error / Ruiz L., Boriskevich A. // Reports of BSUIR. – 2013. – No. 6. – P. 55-61.
6. Boriskevich A. Technology of vector low-speed Fourier coding of a speech signal / A. Boriskevich, A. Antonchik // Special equipment. – 2010. – No. 3. – P. 40-48.
7. Al-Ademi J. Method of evaluating the impact of pulse magnetic fields on the human body tissues / Al-Ademi J., Davydov M., Nasonova N., Palko T., Lynkov L. // Devices. 2014. – No. 12 (174) – P. 45-48.

### References

1. Osipov A. Method of time-frequency analysis of compound electromyogram in estimation of neurogenic control efficiency in human skeletal muscles / A. Osipov, M. Mezhennaya, N. Davydova, I. Ilyasevich, M. Davydov, E. Soshnikova, V. Kulchitsky // *Activitas Nervosa Superior Rediviva*. - Volume 57, No.4, 2015. - P.101-107.
2. Mezhennaya M. Time-Frequency Analysis of Global Electromyogram in Qualitative and Quantitative Estimation of Human Neuromuscular System Functional Condition / M. Mezhennaya, A. Osipov, N. Davydova, I. Ilyasevich, M. Davydov, V. Kulchitsky // *Biomedical electronics*. - Moscow, No. 2, 2012. - P. 3-11.
3. Mezhennaya M. The therapy and diagnostic hardware-software complex of total electromyography and electrical stimulation / M. Mezhennaya, A. Osipov, N. Davydova, M. Davydov // Proceedings of Conference "Facilities of Medical Electronics and Novel Medical Technologies – MedElectronics-2014". – BSUIR, 2014. – P.268-272.
4. Davydova N. Estimation of the variability of human motor skill on the basis of electrophysiological and biomechanical parameters of movement / Davydova N., Osipov A., Kulchitsky V., Davydov M., Mezhennaya M. // Reports of BSUIR. - 2014. – No. 1 (63). - P. 40-46.
5. Ruiz L. Algorithm of the calculation adaptive lifting wavelet transform based on the diffusion of prediction error / Ruiz L., Boriskevich A. // Reports of BSUIR. – 2013. – No. 6. – P. 55-61.
6. Boriskevich A. Technology of vector low-speed Fourier coding of a speech signal / A. Boriskevich, A. Antonchik // Special equipment. – 2010. – No. 3. – P. 40-48.
7. Al-Ademi J. Method of evaluating the impact of pulse magnetic fields on the human body tissues / Al-Ademi J., Davydov M., Nasonova N., Palko T., Lynkov L. // *Devices*. 2014. – No. 12 (174) – P. 45-48.

### Сведения об авторах

Осипов А.А., к.т.н., доц., проректор БГУИР по научной работе  
 Давыдов М.В. к.т.н., доц., первый проректор БГУИР  
 Борискевич А.А., д.т.н., проф., профессор БГУИР  
 Меженная М.М., к.т.н., доц., доцент БГУИР  
 Давыдова Н.С., к.т.н., доц., доцент БГУИР  
 Хазановский И.О., зам. начальника Центра 1.9 НИЧ БГУИР  
 Фролов А.В., д.б.н., к.т.н., проф., РНПЦ Кардиология  
 Пацеев А.В., врач кардиолог/аритмолог, РНПЦ Кардиология  
 Пацеев С.В., врач акушер-гинеколог, Городской клинический родильный дом №2

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
 г.Минск, ул. П. Бровки, 6  
 Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
 тел. +375 29 3833499  
 e-mail: mezhennaya@bsuir.by  
 Меженная Марина Михайловна

### Information about the authors

Osipov A.A., PhD, associate professor, Vice-Rector for Research and Development of BSUIR  
 Davydov M.V. PhD, associate professor, First Vice-Rector of BSUIR  
 Boriskevich A.A., PhD, Professor of BSUIR  
 Mezhennaya M.M., PhD, Associate professor of BSUIR  
 Davydova N.S., PhD, Associate professor of BSUIR  
 Khazanovsky I.O., Deputy Head of the Center 1.9 of the BSUIR Research Department  
 Frolov A.V., PhD, Professor, Republican Scientific and Practical Center "Cardiology"  
 Patseev A.V., cardiologist/arrhythmologist, Republican Scientific and Practical Center "Cardiology"  
 Patseev S.V., obstetrician-gynecologist, City Clinic Maternity Hospital No. 2

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
 Minsk, P. Brovka st., 6  
 Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
 tel. +375 29 3833499  
 e-mail: mezhennaya@bsuir.by  
 Mezhennaya Marina